

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Савченко Сергій Юрійович

УДК 612.15:519.688

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
УЛЬТРАЗВУКОВИХ СКАНЕРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ І
ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

163 – Біомедична інженерія

Автореферат

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль – 2018

Роботу виконано на кафедрі біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук,
доцент кафедри біотехнічних систем
Дозорський Василь Григорович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,

Рецензент: кандидат технічних наук,
доцент кафедри радіотехнічних систем
Дедів Ірина Юріївна,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 28 грудня 2018 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №22 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9, ауд. 9-507.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Здатність ультразвуку без істотного поглинання проникати в м'які тканини організму і відбиватись від ущільнень і неоднорідностей використовується в завданнях медичної діагностичних. Ультразвукова діагностика доповнює основний метод дослідження внутрішніх органів — рентгенодіагностику, та має перед нею істотні переваги. Практично повна відсутність побічних ефектів дозволяє проводити багаторазові ультразвукові дослідження будь-яких частин тіла. Висока чутливість ультразвукової апаратури дозволяє одержати ехограму м'яких тканин, простежити за рухомими об'єктами (серце, кров), наприклад, за частотою серцевих скорочень, швидкістю кровотоку у великих судинах. За допомогою ультразвуку досить точно визначаються розміри внутрішніх органів і їхніх частин, пухлини, крововиливи, сторонні тіла, камені.

Для оцінювання швидкостей рухомих середовищ застосовується метод ультразвукової доплерографії. При цьому ехосигнал, що приймається, є сумішшю корисного доплерівського сигналу рухомих середовищ із сигналами завад, що є результатом відбиття ультразвукових сигналів від нерухомих і повільно рухомих тканин. Наявність перешкод в ехосигналі спричинює похибку при оцінюванні швидкості руху середовищ. Для подавлення цих перешкод, в приймальному тракті ультразвукового апарату застосовуються фільтри високих частот, які мають істотні недоліки, такі як наявність перехідних процесів, втрата значної частини відліків сигналу через великі порядки фільтрів тощо. Таким чином, актуальним є завдання розроблення алгоритмів подавлення перешкод від нерухомих і повільно рухомих тканин.

Також об'єктом контролю є внутрішня структура тканин біологічних об'єктів. При скануванні структур об'єктів із застосуванням конвесійних ультразвукових датчиків, здійснюється перетворення формату зображення з полярних координат в декартові для відображення на моніторі. При цьому найкращу якість ультразвукового зображення забезпечує метод інтерполяції. Проблемами його реалізації пов'язані з необхідністю обчислення нелінійних функцій, які реалізуються табличним методом з використанням значних об'ємів пам'яті. У зв'язку з цим актуальним є завдання розробки способів зменшення використовуваних обчислювальних ресурсів і скорочення об'ємів пам'яті при реалізації алгоритмів інтерполяції.

Вирішення зазначених завдань є актуальне, оскільки дозволить покращити характеристики ультразвукових сканерів при контролі параметрів рухомих структур та дослідженні біологічних об'єктів.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є розробка алгоритмів обробки ультразвукових сигналів, представлених в цифровій формі, способів їх реалізації і пристроїв поліпшення характеристик ехотомоскопів для контролю рухомих рідких середовищ і біологічних об'єктів. Для досягнення поставленої в даній роботі мети потрібно вирішити наступні завдання:

1. Провести огляд відомих сучасних методів і засобів обробки ехосигналів.

2. Дослідження різних методів цифрової обробки сигналів в ультразвукових діагностичних комплексах.

3. Розробка алгоритмів компенсації перешкод, що створюються нерухомими і повільно рухомими тканинами, на основі методу максимальної ентропії.

4. Дослідження характеристик алгоритму ітераційного повороту вектора і його використання для побудови приймального тракту ультразвукового ехотомоскопа.

5. Розробка алгоритму виділення частоти пульсацій рухомих тканин і засобів для його тестування.

6. Розробка способу формування складеного ультразвукового зображення в режимі динамічного фокусування.

Об'єкт дослідження. Процес побудови алгоритму обробки ультразвукових сигналів, представлених в цифровій формі

Предмет дослідження. Ультразвуковий сигнал - ехосигнал.

Методи дослідження. У роботі використані методи лінійної алгебра, теорії випадкових процесів, чисельні методи, математичне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. Визначені характеристики оцінки спектру максимальної ентропії стосовно завдання виділення доплерівського сигналу рухомого рідкого середовища, від нерухомих і повільно рухомих тканин.

Практичне значення одержаних результатів. На базі проведених досліджень отримана оцінка ефективності використання даного алгоритму в цифровому приймальному тракті ультразвукового ехотомоскопа; розроблений алгоритм перетворення формату ультразвукового зображення методом ітераційного повороту вектора; розроблений спосіб формування складеного ультразвукового зображення в режимі динамічного фокусування; розроблений алгоритм виділення частоти пульсацій рухомих тканин ультразвуковим методом і засоби для його тестування.

Публікації. За матеріалами кваліфікаційної роботи магістра опубліковано тези доповідей на VII міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018 рік.

Структура та обсяг. Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 143 сторінках, списку використаних джерел з 28 назв на 2 сторінках, додатків на 3 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 150 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів роботи на конференціях і семінарах.

У першому розділі «Огляд відомих методів і засобів побудови ультразвукових діагностичних систем для медичної діагностики» при формуванні складеного зображення в режимі динамічного фокусу необхідно вирішити два

основні завдання: компенсацію затримок системи фокусування і формування перехідної зони між фрагментами зображення (алгоритму зшивання зображень).

Оскільки на точність оцінки швидкості рухомої рідини і міру придушення спалахів на зображенні КДК істотний вплив роблять характеристики фільтру режекції перешкоди, то актуальне завдання побудови ефективного фільтру подавлення перешкоди в умовах короткої послідовності відліків вхідного сигналу.

Із запропонованих методів перетворення формату ультразвукових зображень найкращу якість ультразвукового зображення забезпечує метод $R - \theta$ інтерполяції, але він пов'язаний з необхідністю обчислення нелінійних функцій \sqrt{x} , $\arctg(x)$, $1/x$ У зв'язку з цим, актуальна розробка способів зменшення обчислювальних витрат при реалізації алгоритму $R - \theta$ інтерполяції, одним з яких є вживання алгоритму ІПВ.

У другому розділі «РОЗРОБКА МЕТОДУ РЕЖЕКЦІЇ СИГНАЛІВ РУХОМИХ ТКАНИН» встановлено, що спектральна оцінка ММЕ є асимптотично незміщеною і має різко виражений пік на частоті завад. При цьому величина піку залежить як від відношення рівня шуму до рівня перешкоди, так і від довжини прогнозуючого фільтру.

Ширина спектру ММЕ завад практично не змінюється при зміні числа відліків вхідного сигналу, а залежить, як і величина спектрального піку на частоті перешкоди, від відношення рівня шуму до рівня завад і довжини прогнозуючого фільтру.

Спектральна оцінка ММЕ сигналу, що складається з декількох гармонік в шумах, є зміщеною навіть при необмеженому збільшенні довжини вхідної послідовності. В разі сигналу, що складається з двох гармонік в шумах, збільшення рівня однієї з гармонік наводить до зменшення зміщення і ширини її спектрального піку, тоді як ширина і зміщення іншої гармоніки прагнуть до постійних величин, залежних від відношення рівня цієї гармоніки до дисперсії шуму і різниці частот гармонік.

Оцінка спектру на основі лінійної екстраполяції поза інтервалом спостереження при малому відношенні сигнал-шум характеризується розширенням, як і при методі періодограм, а для великих співвідношень при збільшенні довжини екстраполяції - розрішення, близьким до зміщення спектру ММЕ. Важливою перевагою вказаної оцінки спектру перед періодограмою і спектральною оцінкою ММЕ є те, що вона може бути ефективно використана для виділення сигналу рухомого рідкого середовища, рівень якого такий самий як рівня шуму, на тлі потужної завади.

Для ефективної перешкоди в тимчасовій області можуть використовуватися основані на методі максимальної ентропії компенсація перешкоди шляхом лінійної фільтрації з прогнозуванням і екстраполяція даних поза інтервалом спостереження для заповнення ФВЧ початковими даними.

У третьому розділі «Методи побудови тракту обробки ультразвукового сигналу на основі ітераційних алгоритмів» встановлено, що похибка кута повороту алгоритмом ІПВ в параметризованій системі координат, обумовлена граничним числом ітерацій n , має закон розподілу, близький до рівномірного на інтервалі $[-\varphi_n, \varphi_n]$, де φ_n значення кута повороту на n - ній ітерації. Отримані теоретичні

характеристики похибок кута повороту алгоритмом ППВ добре узгоджуються з результатами математичного моделювання.

Розроблений ефективний в обчислювальному відношенні алгоритм цифрового перетворення декартових координат в полярні на основі ітераційного повороту вектора. При використанні цього алгоритму істотно скорочується об'єм обчислювальних витрат.

При використанні алгоритму ППВ в приймальному тракті ультразвукового сканера кількість арифметичних обчислень на реалізацію операції повороту вектора скорочуються приблизно в 1,5 рази. Крім того, для реалізації операції повороту вектора методом ППВ не потрібний ПЗП великого об'єму для зберігання значень комплексної експоненти, що дозволяє зменшити потужність споживання і вартість пристрою повороту вектора

За рахунок ефективної реалізації алгоритму ППВ можлива побудова цифрового приймального тракту ультразвукового сканера з високошвидкісною конвеєрною обробкою даних.

У четвертому розділі «Реалізація ультразвукових комплексів з розширеною комп'ютерною обробкою» встановлено, що при дрібносерійному виробництві устаткування використання мікросхем - контролерів шин сторонніх виробників є більш бажаним ніж при реалізації інтерфейсу в ПЛІС. Для ультразвукових приладів класу «СОНОМЕД - 500» оптимальним вибором інтерфейсу взаємодії з ПК є шина PCI, а для приладів класу «СОНОМЕД - 200» - USB 2.0. Це пов'язано з тим, що дана шина забезпечує необхідну пропускну швидкість, а також тим, що існує великий вибір контролерів цих шин і засобів розробки.

При побудові апаратури по запропонованій ідеології, за рахунок використання у складі високопродуктивного комп'ютера, виконується не лише керування приладом і формування зображення на екрані дисплея, але також виконується частина первинної обробки і подальшої постобробки ультразвукових даних. Використання при обробці стандартних комп'ютерних комплектуючих (звукових карт і так далі) дозволяє знизити не лише вартість приладу, але і час, що витрачається на його розробку.

Запропонований алгоритм компенсації затримок системи фокусування і “зшивання” зображення в режимі динамічного фокусування дозволяє формувати високу якість зображення при роботі із всіма типами датчиків.

Розроблена методика тестування дозволять порівнювати фетальні монітори як із застосуванням шаблонних (використовуючи фетальний симулятор), так і із застосуванням реальних записів і визначати якість формування кривої ЧСС без втручання в їх схемотехніку.

Прилад «СОНОМЕД - 200», побудований за технологією розширеної комп'ютерної обробки, володіє характеристиками, які не поступаються приладам провідних виробників, побудованим без використання в своїй основі ПК, а також додатковим набором сервісних можливостей.

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» описано методику проведення медико-біологічних досліджень та проведено обґрунтування вибору УДК напряму наукового дослідження.

У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 33489,24 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюються експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,685 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання електробезпеки, негативного впливу електричного струму на умови праці та способів їх нормування при експлуатації ультразвукового сканера Toshiba Medical Aplio i-series. Законодавчі та нормативні акти з безпеки життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях. Засоби індивідуального захисту.

У восьмому розділі «Екологія» розглянуто питання актуальності охорони навколишнього середовища і екології, вплив промислових електромагнітних полів на біосферу вплив електромагнітних випромінювань на організм людини.

ВИСНОВКИ

Важливою перевагою цифрових пристроїв є використання складних алгоритмів обробки сигналів, реалізація яких в аналогових пристроях не можлива. Реалізації функцій цифрової обробки сигналів, за рахунок використання стандартних програмно-апаратних засобів персонального комп'ютера, дозволяє істотно знизити вартість приладу, скоротити час розробки і реалізувати багато сервісних можливостей приладів високого класу. Запропоновані алгоритми цифрової обробки сигналів реалізуються в приладі, побудованому по цій ідеології.

Основним методом боротьби із завадами від повільно рухомих тканин в режимі КДК є використання фільтрів режекції з крутою частотою зрізу і великою величиною подавлення сигналу в смузі режекції. Розроблені ефективні алгоритми компенсації завад, засновані на оцінці параметрів завад по методу максимальної ентропії. Особливістю даного методу є те, що оцінка спектру сигналу має різко виражений пік на частоті завад, що дозволяє точно оцінити її параметри.

Досліджений алгоритм ітераційного повороту вектора в параметричній системі координат, і його збіжність. Був виконаний аналіз похибок алгоритму, на підставі якого виконано висновок про доцільність використання алгоритму для побудови приймального тракту ультразвукового сканера. Алгоритм ітераційного повороту вектора при тій же похибці результату, що і традиційні методи, дозволяє зменшити обчислювальні ресурси мінімум в 1,5 рази і скоротити об'єм використовуваного ПЗП для зберігання констант. Алгоритм ІПВ застосований в розроблених приладах на наступних етапах обробки ультразвукових даних: детектування, стиснення динамічного діапазону і операції перетворення формату ультразвукового зображення.

Розроблений алгоритм формування складеного ультразвукового зображення в режимі динамічного фокусу, який включає два основні етапи: компенсацію

затримок системи фокусування і формування перехідної зони між фрагментами зображення (“зшивання зображень”). Компенсація затримок системи фокусування здійснювалася затримкою моменту запуску АЦП, а формування перехідної зони – сумуванням перекритих фрагментів зображення із змінними ваговими коефіцієнтами.

Розроблений алгоритм розрахунку ЧСС для використання у фетальному моніторі оснований на обчисленні автокореляційної функції. Вибір часу накопичення сигналу для обчислення АКФ є серйозною практичною проблемою. Для подавлення шумів, присутніх у вхідному сигналі, доцільно збільшувати час накопичення сигналу, але для відстежування швидких змін періоду сигналу, необхідно його скорочувати. Розроблений алгоритм дозволяє відстежувати короточасні зміни частоти пульсацій і забезпечує стійку роботу при наявності в сигналі шумів і артефактів. Використання розроблених методів тестування фетальних моніторів, дозволило оптимізувати параметри алгоритму і забезпечити характеристики, що не поступаються приладам провідних світових виробників.

ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ

1. Савченко С.Ю. Покращення характеристик ультразвукових сканерів для контролю і діагностики біологічних об’єктів / С.Ю. Савченко, А.О. Левенець // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018 року. – Т2.: ТНТУ, 2018. – С. 156

АНОТАЦІЯ

Савченко С.Ю. Розробка алгоритму покращення характеристик ультразвукових сканерів для контролю і діагностики біологічних об’єктів. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Кваліфікаційну роботу магістра присвячено розробці алгоритмів покращення характеристик ультразвукових сканерів. У магістерській роботі розглянуто відомі алгоритми для обробки ехосигналів, проведене математичне моделювання ультразвукового доплерівського сигналу. Досліджено характеристики оцінки спектру по максимуму ентропії стосовно сигналу рухомого рідкого середовища, від нерухомих і повільно рухомих тканин; алгоритми виділення доплерівського сигналу рухомої рідини на основі використання лінійного передбачуваного фільтру. Оцінено похибки в цифровому приймальному тракті ультразвукового сканера, які виникають при обчисленні за алгоритмом ітераційного повороту вектора. Крім того, розроблено алгоритм перетворення формату ультразвукового зображення методом ітераційного повороту вектора та алгоритм виділення частоти пульсацій рухомих тканин ультразвуковим методом і засоби для його тестування.

Ключові слова: ультразвук, ультразвуковий сканер, алгоритм, ехосигнал, ентропія, доплерівський сигнал, ітераційний алгоритм, похибка, математична модель, ехотомоскоп.

ABSTRACT

Savchenko S.Yu. An algorithm development for the ultrasound scanners characteristics improving for the biological objects control and diagnosis. Manuscript. Qualifying Work, Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil, 2018.

Qualifying work of master's degree is devoted development of algorithms of improvement of descriptions of ultrasonic scintiscanners. In master's degree work the known algorithms are examined for treatment of ultrasonic signal, the mathematical design of the ultrasonic doppler signal is conducted. Investigational descriptions of spectrum estimation are on a maximum of entropy in relation to the signal of mobile liquid environment, from immobile and slowly mobile fabrics; algorithms of selection of the doppler signal of mobile liquid are on the basis of the use of the linear supposed filter. Errors are appraised in the digital receiving highway of ultrasonic scintiscanner, which arise up at a calculation after the algorithm of ітераційного turn of vector. In addition, the algorithm of transformation of format of ultrasonic image is developed by the method of ітераційного turn of vector and algorithm of selection of frequency of pulsations of mobile fabrics by an ultrasonic method and facilities for his testing.

Keywords: ultrasound, ultrasonic scintiscanner, algorithm, ultrasonic signal, entropy, doppler signal, iteration algorithm, error, mathematical model.